



# TU Clausthal

Seminararbeit

## Offboard- & Onboard-Diagnose

Seminar: Diagnose und Test von  
Software-Funktionen im Fahrzeug

Tajo Reetz

26. Oktober 2015

Institut für Informatik  
Dr. Andreas Schulze (Volkswagen AG)

betreut durch:  
Dipl.-Inform. Henrik Peters



## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe und dass alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht sind.

Clausthal-Zellerfeld, 26. Oktober 2015

---

## **Freigabevermerk**

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass meine Seminararbeit in der Instituts- bzw. Universitätsbibliothek ausgelegt und zur Einsichtnahme aufbewahrt werden darf.

Clausthal-Zellerfeld, 26. Oktober 2015

---





# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	<b>vii</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Fallbeispiel: Lambdasonde</b>	<b>3</b>
2.1 Zweck und Funktion im Fahrzeug . . . . .	3
2.2 Funktionsweise der Zweipunkt-Lambda-Sonde . . . . .	5
<b>3 Diagnose im Fahrzeug</b>	<b>7</b>
3.1 Off-Board-Diagnose . . . . .	7
3.1.1 Funktionen und Typen . . . . .	8
3.1.2 Vorstellung der OBD II-Schnittstelle . . . . .	9
3.1.3 Diagnosetester . . . . .	9
3.2 On-Board-Diagnose . . . . .	13
3.2.1 Gesetzliche Vorgaben . . . . .	13
3.2.2 Fehlererkennungs- und Behandlungsverfahren . . . . .	15
3.2.3 Sicherheitssysteme . . . . .	16
3.2.4 Fehlerspeicher . . . . .	17
<b>4 Diagnose am Beispiel einer Lambdasonde</b>	<b>21</b>
4.1 Diagnosemöglichkeiten durch Lambdasonden-Werte . . . . .	21
4.2 Daten der Lambdasonde . . . . .	21
4.3 Kommunikationsablauf mit dem Diagnosetester . . . . .	22
4.3.1 Beispiel eines Fehlerfalls . . . . .	23
<b>5 Zusammenfassung und Fazit</b>	<b>27</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>29</b>



# Verzeichnis der Abbildungen

2.1	Spannungsverlauf einer Zweipunkt-Lambdasonde . . . . .	4
2.2	Lambdasonden Quermotor . . . . .	4
2.3	Lambdasonden Längsmotor . . . . .	5
2.4	Aufbau einer Lambdasonde . . . . .	6
3.1	Beispielhafter Diagnosetester (Quelle: Bosch Media Service) . . . . .	11
3.2	OBD II Grenzwerte . . . . .	14



# Verzeichnis der Abkürzungen

<b>CARB</b>	California Air Resources Board
<b>OBD</b>	On-Board-Diagnose
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>EOBD</b>	Europäische On-Board-Diagnose
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>SAE</b>	Society of Automotive Engineers
<b>ASAM</b>	Association for Standardization of Automation and Measuring Systems
<b>AUTOSAR</b>	Automotive Open System Architecture
<b>EEPROM</b>	Electric Erasable Programmable Read Only Memory
<b>DTC</b>	Diagnostic Trouble Code
<b>CAN</b>	Controller Area Network
<b>MIL</b>	Malfunction Indicator Light
<b>WWH-OBD</b>	World Wide Harmonized - On Board Diagnostic
<b>PID</b>	Parameter Identifier
<b>SID</b>	Service Identifier
<b>TID</b>	Test Identifier
<b>ABS</b>	Antiblockiersystem
<b>ESP</b>	Elektronisches Stabilitätsprogramm
<b>VCDS</b>	VAG-COM Diagnose-System
<b>NEFZ</b>	Neuer Europäischer Fahrzyklus



# 1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist die schriftliche Ausarbeitung zum Thema „Onboard und Offboard“ aus der Seminarveranstaltung „Diagnose und Test von Software-Funktionen im Fahrzeug“ und fasst die Ergebnisse der im Rahmen des Seminars erarbeiteten Resultate zusammen. Sie richtet sich an alle, die einen Einblick in die heutige Diagnose moderner Fahrzeuge, speziell am Beispiel der Lambdasondenregelung, bekommen möchten.

Die Ursprünge der Diagnose liegen in den 1988 verabschiedeten Vorschriften des California Air Resources Board. Diese sagen aus, dass alle Fahrzeuge ab Baujahr 1994 die ausgestoßenen Emissionen während der Fahrt selbstständig überwachen mussten. Dies warf neue Möglichkeiten und Probleme im Fahrzeugbau auf. Es mussten neue Technologien gefunden werden, durch die die Überwachung und Auswertung des Abgasstromes gewährleistet werden konnte.

Heutzutage bezieht sich die Diagnose in Fahrzeugen nicht mehr ausschließlich auf die Emissionsüberwachung. Es wurden inzwischen viele weitere Funktionen entwickelt, die durch Diagnose überwacht und optimiert werden können. Auch viele heutzutage selbstverständlichen Fahrzeugeigenschaften sind erst durch die Technik der Diagnose möglich geworden.

Diese Seminararbeit umfasst zum einen eine Einführung in das Thema der Diagnose und in die Technik der Lambdasonde. Des Weiteren wird sowohl die Offboard- als auch die Onboard-Diagnose dargestellt und an dem wichtigen Beispiel der Lambdasondenüberwachung verdeutlicht. Als anschauliches Beispiel dienen hierzu ausgewählte Diagnosedaten eines Toyota Corolla mit defekter Lambdasonde.

Das Ziel der Arbeit ist, die Thematik der Diagnose detaillierter zu ergründen und zusammenfassend darzustellen.





## 2 Fallbeispiel: Lambdasonde

An dieser Stelle soll zunächst der Hintergrund der Lambdasonden im Fahrzeug dargestellt werden. Das zweite Kapitel enthält somit wichtige Grundlagen, auf die der Rest der Arbeit immer wieder aufbaut.

### 2.1 Zweck und Funktion im Fahrzeug

Um mit dem Motorsteuergerät ein optimales Luft-Kraftstoff-Gemisch zu berechnen, werden Lambdasonden im Abgasstrom benötigt. Die Sonden messen den Restsauerstoffgehalt im Abgas. Da sich die Schadstoffkonzentration gegenläufig zur Sauerstoffkonzentration verhält, kann durch die Sauerstoffmessung eine präzise Aussage über die sich im Abgas befindlichen Schadstoffe getroffen werden. Anhand der Messwerte der Sonden kann somit auf die Emissionen und durch diese wiederum auf die Güte der Verbrennung geschlossen werden. [Rei14]

Durch den gemessenen Restsauerstoffgehalt liegt an den Klemmen der Lambdasonde eine Spannung an. Eine intakte Sonde gibt eine Spannung zwischen 0,1 V und 0,9 V aus (vgl. Abbildung 2.1 [Rei14]). Diese Steuersignale werden ans Motorsteuergerät geleitet, dort analysiert und in einen Lambdawert umgerechnet. Im Idealfall hält sich der Lambdawert möglichst dicht an  $\lambda = 1$  auf, da an diesem Punkt, dem stöchiometrischen Optimum, am wenigsten Schadstoffe entstehen. Das stöchiometrische Optimum beschreibt den Punkt der vollständigen Verbrennung des Kraftstoffes. Hierzu sind 14,7 kg Luft auf 1 kg Super95 notwendig.

Steigt der Lambdawert über 1, so bezeichnet man das Gemisch, aufgrund des Luftüberschusses, als mager. Sinkt der Wert unter 1, herrscht Kraftstoffüberschuss. Dies wird als fettes Gemisch bezeichnet.

Aufgrund dieser Daten wird, je nach Fahrsituation, das Gemisch und der Zündzeitpunkt der Verbrennung nachgeregelt. Das Ziel der Regelung ist das Halten des stöchiometrischen Optimums, um möglichst wenig Schadstoffe auszustoßen. In manchen Spezialfällen, wie zum Beispiel in Leistungsspitzen, kann je nach aktuellem Arbeitspunkt des Motors auch eine eher fette oder magere Verbrennung gewünscht sein.

Damit die Daten der Lambdasonde wirklich verwendet werden können, muss diese heiß genug sein. Hierbei sind Temperaturen von circa 300 °C erforderlich. Da die Abgase in der Warmlaufphase des Motors noch relativ kalt sind und nicht ausreichen, um die Sonden zu heizen, wird eine Heizung in die Lambdasonde integriert. Hierdurch kann eine Emissionsoptimierung auch in der Warmlaufphase gewährleistet werden. Zwei weitere vorteilhafte Nebeneffekte sind mit der Sondenbeheizung ver-

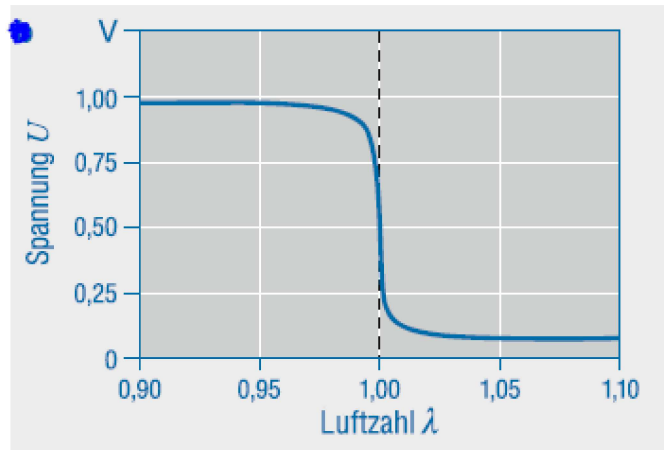


Abbildung 2.1: Spannungsverlauf einer Zweipunkt-Lambdasonde

bunden. Zum Einen der Reinigungseffekt, der durch die Beheizung eintritt und somit für eine Lebensdauerverlängerung der Sonde sorgt. Zum Anderen können die Sonden im Fahrzeug weiter entfernt vom warmen Motor verbaut werden.

Laut Vorgaben der OBD II sind in heutigen Fahrzeugen mindestens zwei Lambdasonden verbaut. Die Bezeichnung der Sonden richtet sich primär nach dem Aufbau des Motors. Wurde der Motor quer zur Längsachse des Fahrzeuges verbaut, werden die Sonden mit Bank 1 bezeichnet; zur Unterscheidung werden sie durchnummeriert, wobei Sensor 1 am nächsten zum Motor liegt (Beispiel: Bank1-Sensor1, vgl. Abbildung 2.2). Ist der Motor parallel zur Längsachse angeordnet, sind zwei Abgasbänke vorhanden. Die Lambdasonden werden nun nach Bank 1 oder Bank 2 und ihrer Nummer benannt (Beispiel: Bank1-Sensor1 und Bank2-Sensor1, vgl. Abbildung 2.3).

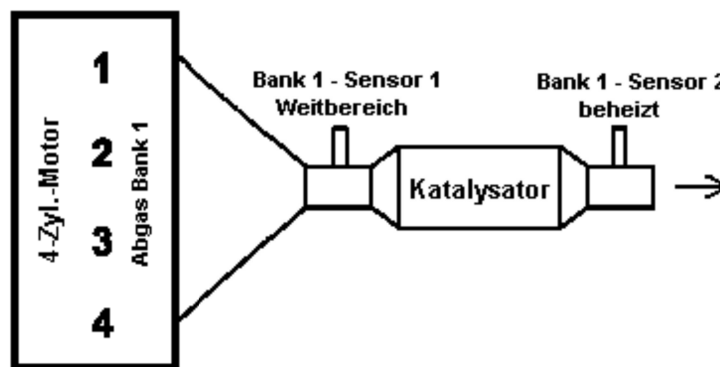


Abbildung 2.2: Lambdasonden Quermotor

In Fahrzeugen sind zwei Arten von Lambdasonden verbaut, die jeweils andere Aufgaben haben. Eine Sonde sitzt vor dem Katalysator und ist hauptsächlich für die Regelung der Verbrennung verantwortlich und mit der Qualität der Abgase zwi-

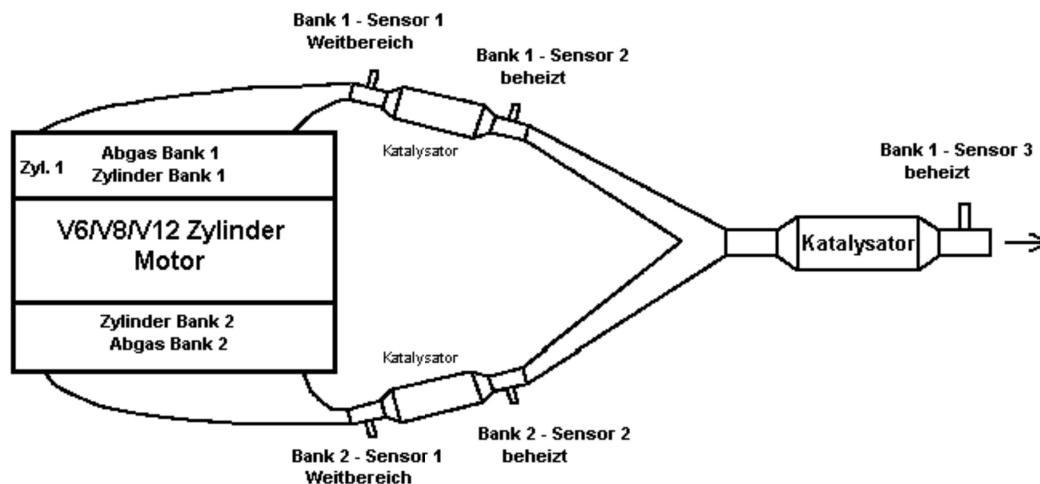


Abbildung 2.3: Lambdasonden Längsmotor

schen 0,1 V und 0,9 V schwankt (vgl. Abbildung 2.1). Die zweite Lambdasonde ist hinter dem Katalysator verbaut. Diese erfährt im Normalfall nur minimale Schwankungen, da die Abgaswerte nach der Abgasbehandlung im Katalysator immer auf einem möglichst niedrigen Level sein sollten. Die Nach-Kat-Sonde gibt somit den Reinigungserfolg der Abgasnachbehandlung an.

Die Fahrzeugdiagnose kann die Lambdasondenwerte nutzen, um aus ihnen auf Funktionalität einzelner Komponenten zu schließen und die ausgestoßenen Emissionen zu kontrollieren. [Sch12, Rei14]

## 2.2 Funktionsweise der Zweipunkt-Lambda-Sonde

Zur Messung des Restsauerstoffgehaltes im Abgasstrom gibt es verschiedene Messmethoden. Im Folgenden wird das Messprinzip der Zweipunkt-Sonde kurz erläutert, um ein grundsätzliches Verständnis für den Sensor zu erlangen.

Die Zweipunkt-Lambda-Sonde sorgt, im Gegensatz zur Breitbandsonde, nicht für eine stetige Regelung. Wie der Name schon sagt, kennt sie nur zwei Werte: „zu fett“ oder „zu mager“. Es werden somit nur Informationen über das momentane Sauerstoff-Kraftstoff-Verhältnis ermittelt. Dies beschränkt die Regelung zu einer Regelung auf einen Punkt. Eine Steuerung auf einen temporär günstigen Wert wird nicht unterstützt. [Rei14]

Das Prinzip der Messung beruht auf dem Nernst-Prinzip, welches durch eine Sauerstoffkonzentrationszelle beschrieben werden kann (vgl. Abbildung 2.4). Hierbei ist die äußere Seite der Elektrode im Abgasstrom, die Innere liegt an der Referenzluft. Die aus poröser Keramik bestehenden Oberflächen der Elektrode sind bei hohen Temperaturen (circa 300 °C) für Sauerstoffionen durchlässig. Aufgrund dieses Effektes können Sauerstoffatome der Halbzelle mit hohem Partialdruck zur Halbzelle mit niedrigem Partialdruck diffundieren. Sie durchschreiten hierbei eine Zirkonium-

dioxidmembran. Ist die Sauerstoffkonzentration in den Halbzellen und somit der Partialdruck unterschiedlich, liegt, bedingt durch die Ladungsträgerverschiebung, eine elektrische Spannung an den Klemmen an. Diese wird als Lambdasondenspannung gemessen und bezeichnet. Durch die sprungförmige Änderung der Kennlinie beim stöchiometrischem Optimum ist eine Regelung auf genau  $\lambda = 1$  recht aufwendig (vgl. Abbildung 2.1). [Rei12]

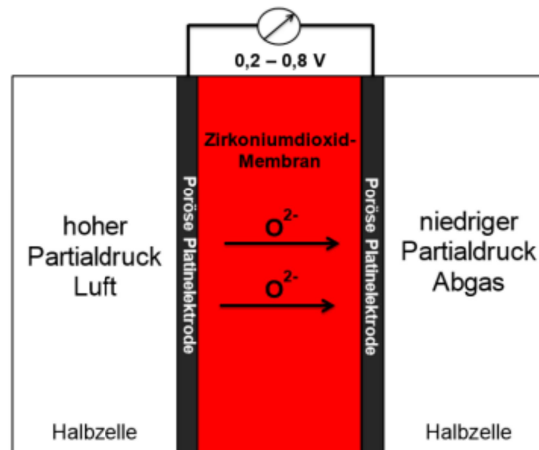


Abbildung 2.4: Aufbau einer Lambdasonde

## 3 Diagnose im Fahrzeug

Bevor in den folgenden Kapiteln weiter im Detail auf die Off-Board- und On-Board-Diagnose eingegangen wird, sollen hier zunächst die Begriffe und Hintergründe erläutert werden.

Bei einer Diagnose geht es in erster Linie darum, die Fehlerursache und den Ort des Fehlers in einem technischen System zu bestimmen. Die Diagnose von Fahrzeugen ermöglicht es, eine schnelle Fehleranalyse und geführte Fehlersuche im Reparaturfall sicherzustellen. Des Weiteren können die aufgetretenen Probleme schnell statistisch ausgewertet werden, um die Qualität aufrecht zu erhalten bzw. stetig zu verbessern. Diagnose funktioniert jedoch nicht nur passiv. Auch aktives Eingreifen in den Betrieb ist durch entsprechende Diagnosefunktionen möglich. Zum einen ein sanftes Eingreifen wie das Informieren und Warnen des Fahrers, durch zum Beispiel die Motorkontrollleuchte. Aber auch ein hartes Eingreifen ist möglich, um einen sicheren Zustand zu garantieren. Hierzu zählen Sicherheitsaspekte wie der Notlauf oder die Deaktivierung einzelner defekter Komponenten. Der wohl einfachste, aber auch wichtigste Fall der aktiven Diagnose ist das Abspeichern von Fehlern im Speicher des Steuergerätes. Nur durch diese Datensicherung ist eine spätere Analyse und eine Langzeitüberwachung im Fahrzeug möglich.

Die Diagnose im Fahrzeug wird nun in zwei sehr unterschiedliche Bereiche aufgeteilt. Zum einen erfolgt die Off-Board-Diagnose außerhalb des eigentlichen Fahrzeugsystems. Meist werden hierfür spezielle Diagnosetester verwendet. Zum anderen findet die On-Board-Diagnose vom Motorsteuergerät in jeder Betriebsphase statt.

Die On-Board-Diagnose hat ganz andere Funktionen. Sie ist Hauptbestandteil der gesetzlichen Richtlinien zur Überwachung von abgasrelevanten Komponenten. Dementsprechend ist ihre Funktion hauptsächlich für die Kontrolle der Abgaswerte zuständig. [Sch12, Rei14]

### 3.1 Off-Board-Diagnose

Zunächst wird hier die Diagnose vorgestellt, die nicht vom Fahrzeug selber, sondern von einem Diagnosetester durchgeführt wird.

Die Off-Board-Diagnose dient einerseits zum Auslesen und Löschen der in den Steuergeräten befindlichen Fehlerspeicher. Dies hat den Zweck, in der Werkstatt schnell defekte Bauteile identifizieren zu können und keine lange manuelle Fehlersuche durchführen zu müssen. Andererseits kann mit Hilfe des Diagnosetesters die Funktion von Sensoren und Aktoren überprüft werden. Zum Testen von Sensoren werden die Mess-

werte vom Diagnosetester abgefangen und außerhalb des Gesamtsystems auf Plausibilität überprüft. Der Test von Aktoren erfolgt genau umgekehrt. Hierfür werden Stellsignale an die Aktoren gesendet. Es kann nun ermittelt werden, ob diese mit der erwarteten Antwort reagieren. [Rei14]

### 3.1.1 Funktionen und Typen

Die Off-Board-Diagnose bietet viele Möglichkeiten, Komponenten des Fahrzeuges zu überprüfen oder Änderungen vorzunehmen.

Zu den wichtigsten Funktion, welche das Auslesens und Löschsens von Fehlern bedeutet, kann die Suche defekter Komponenten durch geschickte Interpretation dieser Fehler unterstützt werden. Hierzu werden Messwerte durch die Off-Board-Diagnose ermittelt. Diese Ist-Werte des Systems können geschultes und erfahrenes Personal schnell zu fehlerhaften Bauteilen führen. Bei der so genannten Sensordiagnose werden die Signale der zu untersuchenden Sensoren, abgegriffen. Eine Plausibilitätsüberprüfung der Messwerte im Diagnosegerät kann auf Fehlmessungen der Sensoren schließen lassen. Eine weitere Methode der Off-Board-Diagnose ist die Untersuchung von Stellgrößen. Hierbei werden Aktoren durch den Diagnosetester angesprochen und mit einem Sollwert belegt. Die subjektiv beobachteten oder messtechnisch ermittelten Reaktionen auf den Sollwert können Abweichungen vom erwarteten Wert und somit Stellfehler aufzeigen. Diese Funktion der Off-Board-Diagnose wird als „Aktuatordiagnose“ bezeichnet. [Rei14]

Gute Diagnosegeräte besitzen Funktionen, mit denen automatisierte Komponententests durchgeführt werden können. Bei diesen Tests vergleicht das Diagnosegerät die Stellgrößen der Aktoren, mit den zuvor selbstständig vorgegebenen Sollgrößen. Auf diese Weise können schnell und sicher Fehler im System erkannt werden. Eine Einschränkung auf die defekten Teile findet nur in geringen Maße statt, da viele Sensoren, Aktoren, Steuergeräte und Bussysteme an diesen Tests beteiligt sein können. Beispielhaft kann für einen automatisierten Komponententest der Test „Separierung von Gemisch- und Lamabdasondenfehlern“ genannt werden. Hierbei wird untersucht, ob das Aufleuchten der Malfunction Indicator Light (MIL) durch einen Gemischfehler oder eine defekte Lambdasonde vor dem Katalysator erfolgt ist. Durch den Vergleich der Lambdasondensignale bei Anfettung und Abmagerung des Luft-Kraftstoff-Gemisches kann entschieden werden, ob ein Fehler bei der Gemischbildung oder in den Werten der Vor-Kat-Lambdasonde vorliegt. [Rei14]

Eine eher neuere Methode der Diagnose findet sich in Wartungsaufgaben moderner Fahrzeuge. Da viele Funktionen nicht mehr rein mechanisch, sondern teilweise elektronisch betrieben werden, muss vor einer Wartung der Wartungsmodus aktiviert werden. So können die Komponenten eines Bremssystems mit elektrischer Feststellbremse nicht ausgebaut werden, bevor eine Verriegelung gelöst wurde. Diese Entriegelung wird vom Wartungsmodus gesteuert. [Rei09]

### 3.1.2 Vorstellung der OBD II-Schnittstelle

Die zweite Stufe der On-Board-Diagnose (OBD) wurde 1996 in den USA verpflichtend für alle neuen Automobile eingeführt. Sie stellt die überarbeiteten Richtlinien und Normen für die in Fahrzeugen seit 1988 implementierte OBD I dar. Diese beschrieb die Überwachung von abgasrelevanten Komponenten und die Abspeicherung von Fehlern im Fehlerfall. Des Weiteren wurde eine Malfunction Indicator Light (MIL) vorgeschrieben, die auf ernsthafte Fehler aufmerksam macht. Das Auslesen der Fehler wurde über einfache Blinkcodes realisiert. In Europa wurde die Europäische On-Board-Diagnose (EOBD) 1998 verabschiedet und für alle Fahrzeugen ab dem Baujahr 2000 verpflichtend. In der Neuauflage ist nun zu den Funktionen der OBD I die Überwachung, Auswertung und Analyse der von den Sensoren gemessenen Daten eingeführt worden. So wurde nicht mehr nur die korrekte Funktionalität der Lambdasonden überprüft, sondern auch eine Plausibilitätskontrolle der Daten, sowie die Überwachung von gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten umgesetzt. Die OBD II beschreibt heute ein Gesamtkonzept, um alle umweltkritisch relevanten Bauteile zu überwachen, unter der Prämisse, eine Erhöhung der Abgasemission sicher zu erkennen und darauf zu reagieren. Alle abgasrelevanten Diagnosefunktionen sollten zur Sicherstellung dieser Zielsetzung mindestens einmal pro Testzyklus überprüft werden. Tritt bei dieser Überwachung eine Überschreitung der Abgasprüfwerte ein, so muss der Ausfall im Fehlerspeicher protokolliert werden und der Fahrer durch das Aufleuchten der MIL auf den Fehler aufmerksam gemacht werden. Zudem wurde mit der OBD II die Norm ISO 15031 eingeführt, welche den Zugriff und den Aufbau von Fehlerspeicherinformationen, sowie die Kommunikationsschnittstelle festlegt. Hierdurch wird eine Fehlerbehandlung aller Fabrikate in jeder Werkstatt gewährleistet. Der Stand der Entwicklung ist die Ausarbeitung der World Wide Harmonized - On Board Diagnostic (WWH-OBD), in der Unterschiede in Standardisierung und Richtlinien weltweit angeglichen werden sollen. [Sch12]

### 3.1.3 Diagnosetester

Um die Daten der während der Fahrt gespeicherten Fehlercodes nutzen zu können, sind Diagnosetester unbedingt notwendig. Meist besitzen diese Tester einen Umfang wie ein normaler Computer, mit Bedienoberflächen, Anschlussschnittstellen (wie USB) und Funkmodulen für WLAN und Bluetooth. Da die Fahrzeugelektronik immer komplexer und leistungsfähiger wird, ist auch eine steigende Rechenleistung bei den Diagnosetestern erforderlich. Die schnellen Entwicklungen auf dem Elektronikmarkt sind hierfür sehr dienlich. Im Vergleich zu Konsumartikeln bestehen jedoch andere Ansprüche an diese spezialisierten Systeme. Einerseits wird eine fast doppelt so lange Lebensdauer von circa sieben Jahren verlangt, andererseits müssen die Geräte deutlich größere physikalische Einflüsse aushalten. Hierzu zählen vor allem mechanische, thermische und elektromagnetische Kräfte. [Rei09]

Damit eine Kommunikation zwischen Diagnosegerät und den Steuergeräten im

Fahrzeug stattfinden kann, ist eine Kopplung der Systeme notwendig. Diese erfolgt immer über die genormte Diagnosebuchse, die leicht zugänglich im Fahrerraum verbaut werden muss. Die Verbindung kann jedoch nicht nur per Diagnosekabel, sondern auch über Funknetzwerke, wie WLAN oder Bluetooth, eingerichtet werden. Vor dem Jahre 2008 musste darauf geachtet werden, dass der verwendete Tester auch das Protokoll der entsprechenden Fahrzeugdiagnose unterstützt. Seit Einführung der Diagnose über einen Controller Area Network (CAN)-Bus, mit der ISO 15765<sup>1</sup>, wird in allen Fahrzeugen das CAN-Protokoll zur Diagnose verwendet. [Rei14]

Zunächst ist die primäre Aufgabe eines Diagnosegeräts das Auslesen und Löschen von, in den Steuergeräten des Fahrzeuges, gespeicherten Fehlern. Meist erfolgt diese Art der Diagnose, wenn der Kunde bei bemerkten Auffälligkeiten oder zur Routineinspektion in die Werkstatt fährt.

Heutzutage gibt es viele verschiedene Diagnosegeräte auf dem Markt (Beispiel: vgl. Abbildung 3.1), wobei allerdings günstige Lösungen oft nur eingeschränkt und für den privaten Gebrauch nutzbar sind. Professionelle Geräte sind hingegen unverkennbar umfangreicher und erlauben einen tieferen Einblick in die Diagnosemöglichkeiten. Auch diese Diagnosetester lassen sich erneut in zwei Klassen einteilen. Einerseits Geräte für freie Werkstätten, andererseits die Tester, welche von den Herstellern für Vertragswerkstätten bereitgestellt werden. Auch hier besteht der Hauptunterschied in der Tiefe der Diagnose. Wo Vertragspartner oft auf die Herstellerdiagnose und somit auf alle Steuergeräte und die geführte Fehlersuche zugreifen können, haben freie Werkstätten nur einen begrenzten Arbeitsraum. Die Herstellerdiagnose ermöglicht es, tiefgreifende Änderungen am Fahrzeugsystem vorzunehmen. Hierzu gehören auch Software-Aktualisierungen und Konfigurationen der Fahrzeugeigenschaften. [Rei09]

## **Kommunikation von Diagnosetester und Fahrzeug**

In diesem Kapitel soll nun erläutert werden, wie die Kommunikation zwischen Diagnosegerät und den Steuergeräten aufgebaut ist. Eine detailliertere Beschreibung am Beispiel der Lambdasonden-Daten ist in Kapitel 4.3 zu finden.

Sobald der Diagnosetester über die OBD II-Schnittstelle an das Fahrzeugsystem angeschlossen ist, kann die Kommunikation direkt starten. Bei Fahrzeugen mit CAN-Diagnoseleitung ist keine Initialisierung vor dem Senden von Abfragen oder Informationen notwendig. Aus diesem Grund wird die Diagnose auch nicht permanent betrieben oder in einer Schleife abgefragt, sondern immer nur beim Datenaustausch. Das heißt, schickt der Tester eine Nachricht an das Motorsteuergerät, bekommt er, solange kein Fehler auftritt, sofort eine Antwort. Der Tester kann nicht nur auf das Motorsteuergerät, sondern auch auf alle anderen Steuergeräte zugreifen. Die Kommunikation findet dennoch ausschließlich über das Motorsteuergerät statt. Um auf

---

<sup>1</sup>ISO 15765: „Road vehicles – Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) – Part 4: Requirements for emissions-related systems“, [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=46045](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=46045)





Abbildung 3.1: Beispielhafter Diagnosetester (Quelle: Bosch Media Service)

andere Kontrolleinheiten zugreifen zu können, schickt der Diagnosetester die Daten an das Motorsteuergerät, welches diese umgehend an die physikalische Adresse, des gewünschten Steuergerät weiterleitet. Dies ist besonders sinnvoll, da in jedem Fahrzeugmodell andere Steuergeräte in Anzahl und Art verbaut sind. Zusätzlich nutzt jeder Hersteller eigene Methoden und Schemata für die Adressierung der einzelnen Komponenten. Durch diesen Aufbau wird eine Vereinheitlichung aller Fahrzeuge erzielt.

Zur Abfrage von Daten stehen in den Steuergeräten bis zu zehn Services zur Verfügung (vgl. Tabelle 3.1), die jeweils in mehrere Parameter Identifier (PID) bzw. Test Identifier (TID) untergliedert sind. Bei Abfrage der PIDs bzw. TIDs werden als Antwort die momentanen Messwerte oder gespeicherten Daten zurückgegeben. Die hier aufgezählten Services sind bis auf Anpassungsmöglichkeiten im SID \$06 für die OBD II genormt. [Sch12]

**Service Identifier \$01** Beinhaltet die meisten Messwerte, die ein Steuergerät be-reithält. Dies können zum Beispiel folgende Informationen sein: Temperatur-messwerte, Motordrehzahl, Fahrzeuggeschwindigkeit, Stellungen von Ventilen und Klappen, Kraftstoffdruck/-füllstand oder Regelungs- und Überwachungs-parameter.

**Service Identifier \$02** Im Freeze Frame werden bei aufgetretenen Fehlern alle ver-fügbaren Daten über die Umgebungsbedingungen abgelegt (vgl. Tabelle 4.5 in Abschnitt 4.3.1).

**Service Identifier \$03** Über diesen Service können Fehlerstände ausgelesen werden.

**Service Identifier \$04** Über diesen Service können Fehlerstände zurückgesetzt wer-den.

SID-Nummer	Bedeutung
\$01	Diagnosedaten
\$02	Freeze Frame Daten
\$03	Fehlercodes auslesen
\$04	Fehlercodes löschen
\$05	Testwerte Lambdasonde
\$06	Testwerte spezifische Systeme
\$07	Temporäre Fehler auslesen
\$08	Test der On-Board-Systeme
\$09	Fahrzeuginformationen
\$0A	Emissionsrelevante Fehlercodes (nur CAN)

Tabelle 3.1: Service Identifier (vgl. [Sch12])

**Service Identifier \$05** Der SID \$05 ist wohl der wichtigste Service, denn hier geht es um die abgasrelevanten Lambdasondenwerte. Mit dem Diagnosegerät kann auf alle relevanten Werte bezüglich der Lambdasonden zugegriffen werden. Dieser Service ist bei Fahrzeugen mit CAN-Protokoll nicht mehr vorhanden, stattdessen sind die Werte im Service \$06 zu finden.

**Service Identifier \$06** Hier wird der Zugriff auf Werte von speziellen überwachten Systemen ermöglicht. Zu diesen Systemen zählen zum Beispiel die Fehlzündungsüberwachung und der Katalysator. Häufig werden in diesem Bereich von den Herstellern eigene, fabrikatspezifische Services untergebracht.

**Service Identifier \$07** Über diesen Service können temporäre oder kurzzeitig aufgetretene Fehler, welche noch nicht in den eigentlichen Fehlerspeicher eingetragen wurden, ausgelesen werden. Diese Funktion ist besonders nützlich, um während der Fehlersuche jede Fehlfunktion sofort festzustellen oder gezielt herbeigeführte Fehler zu erkennen.

**Service Identifier \$08** Durch den Test der On-Board-Systeme kann das Diagnosegerät die Funktion von Sensoren und Aktoren überprüfen. Hierfür können die Befehle Einschalten, Ausschalten und die Anweisung, für eine gewisse Zeit von Sekunden zu arbeiten, an das System übermittelt werden.

**Service Identifier \$09** Durch diesen Service ist es möglich, eindeutige Informationen über das Fahrzeug zu erhalten. So kann zum Beispiel die Fahrzeug-Identifikationsnummer ausgelesen werden.

**Service Identifier \$0A** Dies ist der dritte Fehlerspeicher, der jedoch erst mit Einführung des CAN-Protokolls spezifiziert wurde. Hier werden Fehler abgespeichert, die in Hinblick auf die Emissionswerte kritisch eingestuft werden. Der extra Speicher wurde angelegt, damit kritische Fehler nicht ohne weiteres entfernt

werden können. Nur das Steuergerät selbst ist in der Lage, den Speichereintrag zu löschen, sobald er als nicht mehr schädlich eingestuft wird oder lange nicht mehr aufgetreten ist. Auch nach Abklemmen der Versorgungsspannung bleiben die Daten erhalten. [Sch12]

## 3.2 On-Board-Diagnose

Nach dem Erläutern der Off-Board-Diagnose soll im folgenden Kapitel ein Einblick in die On-Board-Diagnose gegeben werden. Ausfälle und Störungen im Bereich der Schadstoffemission sind unbedingt zu vermeiden, wodurch eine sichere Fehlererkennung zwingend notwendig wird. Auch kann die On-Board-Diagnose aktiv in das Fahrzeugsystem eingreifen. Wenn zum Beispiel die erste Lambdasonde defekt ist, kann die Verbrennung nicht ordentlich geregelt werden. Um in diesem Fall zu hohe Abgase zu vermeiden, wird auf den Ausfall aktiv reagiert. Auch solche Fehlerbehandlungsmaßnahmen während der Betriebszeit sind Teil der On-Board-Diagnose. [Sch12, Rei14]

### 3.2.1 Gesetzliche Vorgaben

Die On-Board-Diagnose ist durch gesetzliche Vorschriften entstanden. Die Idee dahinter war die Überwachung der Emissionswerte der auf den Straßen fahrenden Fahrzeuge. Nach der Einführung in Kalifornien folgte auch bald Europa den Überlegungen und führte eigene Gesetze ein.

Die durch die OBD II Bestimmungen heute vorgeschriebene On-Board-Diagnose sagt aus, dass mindestens folgende Komponenten und Funktionen des Fahrzeuges überwacht werden müssen:

- Katalysator
- Lambdasonden
- Verbrennungsaussetzer
- Abgasrückführung
- Tankleckage
- Sekundärlufteinblasung
- Kraftstoffsystem
- Kurbelgehäuseentlüftung
- Motorkühlung

- Kaltstartemissionsminderung
- Klimaanlage
- variabler Ventiltrieb
- Ozonminderung
- Partikelfilter
- und sonstige abgasrelevanten Komponenten und Funktionen. [Rei09]

Weitere Informationen, wie genau die Überwachung der einzelnen Komponenten und Funktionen aussieht, übersteigt den Umfang dieser Arbeit. Details über die Lambdasonde und die Lambdasondendiagnose können in dieser Arbeit gefunden werden. Zu den anderen Bauteilen wird auf [Rei09, Kapitel 5.9.2] verwiesen.

Die Kontrolle des Abgasausstoßes der Fahrzeuge ist der Hauptgedanke der gesetzlichen Richtlinien. Trotz der inzwischen weltweit angepassten und abgestimmten Normen und Funktionen der On-Board-Diagnose, stellt jeder Regierungsbezirk eigene Emissionsgrenzwerte für die OBD II. In der folgenden Abbildung (vgl. Abbildung 3.2 [Rei14]) sind die Grenzwerte beispielhaft für Otto-Pkw laut CARB, EPA und EOBD dargestellt.

OBD-Gesetz	OBD-Grenzwerte		
CARB	– Relative Grenzwerte – Meist 1,5-facher Grenzwert der jeweiligen Abgaskategorie		
EPA (US-Federal)	– Relative Grenzwerte – Meist 1,5-facher Grenzwert der jeweiligen Abgaskategorie		
EOBD	– Absolute Grenzwerte  <div> <div>EU 5</div> <div>CO: 1 900 mg/km</div> <div>NMHC: 250 mg/km</div> <div>NO<sub>x</sub>: 300 mg/km</div> <div>PM: 50 mg/km</div> </div> <div> <div>EU 6-1</div> <div>CO: 1 900 mg/km</div> <div>NMHC: 170 mg/km</div> <div>NO<sub>x</sub>: 150 mg/km</div> <div>PM: 25 mg/km</div> </div> <div> <div>EU 6-2</div> <div>CO: 1 900 mg/km</div> <div>NMHC: 170 mg/km</div> <div>NO<sub>x</sub>: 90 mg/km</div> <div>PM: 12 mg/km</div> </div>		

Abbildung 3.2: OBD II Grenzwerte

Die einzelnen Standards und Normen für die Diagnose unterliegen der Aufsicht der folgenden Gremien und Organisationen:

- International Organization for Standardization (ISO)
- Society of Automotive Engineers (SAE)
- Association for Standardization of Automation and Measuring Systems (ASAM)

- Automotive Open System Architecture (AUTOSAR)

Die festgelegten Standards sind hierbei zum Teil gesetzlich initiiert und von den Organisationen umgesetzt und zum anderen Teil von der Industrie gefordert, um unter anderem die Qualität der eigenen Produkte zu erhöhen. [Rei09]

### 3.2.2 Fehlererkennungs- und Behandlungsverfahren

Um eine Diagnose im Fahrzeug zu gewährleisten, ist zunächst eine Erkennung der Fehler zwingend notwendig. Um Fehler, Störungen oder Ausfälle eindeutig und zuverlässig identifizieren zu können, gibt es verschiedene Lösungsansätze. Auf jeden aufgetretenen Fehler muss das System angemessen reagieren. Diese Reaktionen werden in so genannten Fehlerbehandlungsmaßnahmen festgelegt. Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen, werden hier beispielhaft zwei Möglichkeiten zur Fehlererkennung und Behandlung vorgestellt. [SZ10]

#### Referenzwertüberprüfung

Bei der sogenannten Referenzwertüberprüfung geht es um die Kontrolle, ob ein gemessener Wert plausibel ist. Hierzu sind im Steuergerät Referenzwerte abgespeichert. Diese Werte sind in der Entwicklung erfasst und bestimmt worden. Sie geben an, in welchem Bereich sich der jeweilige Wert aufhalten darf, um eine Gefährdung oder zu hohe Emissionen auszuschließen. Bei jeder Messung im Betrieb des Fahrzeuges wird der gemessene Wert mit dem erwarteten Referenzwert verglichen. Tritt hierbei eine Unstimmigkeit auf, liegt die Vermutung nahe, dass eine fehlerhafte Messung vorliegt. Damit einmalige Messfehler und Ausreißer bei sonst intakten Bauteilen keine Reaktion auslösen, sind mehrere Unstimmigkeiten zu erfassen, bevor ein Fehler als erkannt gewertet wird. Aus diesem Grund sind drei fehlerhafte Messungen in kurzer Folge notwendig, um einen Fehler sicher zu diagnostizieren. Im Fall der Lambdasonde ist eine Plausibilitätsprüfung der SONDENSPANNUNG integriert. Sind die Spannungswerte häufiger außerhalb des vorgegebenen Messbereiches, wird ein Fehler vom Motorsteuergerät detektiert.

Um einen Fehler solcher Art zu behandeln, gibt es nicht viele Möglichkeiten. Im Fall der Lambdasonde wird, sobald festgestellt wird, dass die SONDENSPANNUNGEN nicht plausibel sind, der Sensor als Defekt eingestuft. Da ein defekter Sauerstoff O<sub>2</sub>-Sensor keine brauchbaren Daten für die Berechnung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses mehr liefern kann, schaltet das Motorsteuergerät auf eine Kennfeldsteuerung um. Da diese Art der Regelung nicht optimal für die Verbrennung ist, fährt das Fahrzeugsystem in den Notlauf runter. Hierdurch können weitere Schäden vermieden werden. Mehr Informationen zum Thema Notlauf sind in Kapitel 3.2.3 zu finden. [SZ10]

## Redundanzüberprüfung

Eine zweite Möglichkeit, um Messungen zu verifizieren, ist die Redundanzüberprüfung. Hierbei sind Redundanzen im System integriert, um mehrere Mess- und Rechenergebnisse von verschiedenen Pfaden vergleichen zu können. Liefern beide Pfade dasselbe Ergebnis, ist dies plausibilisiert. Treten unterschiedliche Resultate auf, muss entschieden werden, welcher Wert am wahrscheinlichsten ist und somit gilt. Die Entscheidung hierbei kann sehr gravierend sein, da sie das gesamte Fahrzeugsystem beeinflussen kann. Redundanzen, die hierbei implementiert sein können, sind zum Beispiel das Nutzen mehrerer Sensoren für die gleichen Daten oder eine diversitäre Software, die eine Berechnung mit einem alternativen Algorithmus ausführt.

Welcher der Werte angenommen wird, ist, je nach Problemstellung, unterschiedlich und muss für jeden Fall neu durchdacht und spezifiziert werden. Häufig wird der niedrigste, höchste oder durchschnittliche Wert genutzt. Es ist also immer ein priorisierter Wertebereich oder Pfad festzulegen. [SZ10]

### 3.2.3 Sicherheitssysteme

Die Entwicklung zeigt, dass immer mehr elektrische Systeme ins Fahrzeug integriert werden. Viele dieser Systeme nehmen dem Fahrer inzwischen sicherheitsrelevante Aufgaben ab oder unterstützen bei ihnen. Solche Systeme sind zum Beispiel der Bremskraftverstärker, die Servolenkung, das Antiblockiersystem (ABS) oder das Elektronische Stabilitätsprogramm ESP. Auch die Lambdasondenregelung gehört hierzu, da ein nicht optimaler Emissionsausstoß ebenfalls als Risiko eingestuft wird. Zum einen fördern diese Systeme die Sicherheit stark, zum anderen bergen sie ein großes Risiko, wenn sie ausfallen oder eine Störung aufweisen. Aus diesem Grund müssen die Sensoren, Aktoren und Sollwertberechnungen ständig überwacht werden. Diese Überwachung ist Teil der On-Board-Diagnose.

Im Fall, dass ein kritischer Fehler erkannt wird, muss nach definierten Sicherheitslogiken reagiert werden, um das Gesamtsystem zu schützen. Folgende Reaktionen sind denkbar:

- Keine Reaktion, da nicht sicherheitsrelevant
- Warnung/Information (Tankanzeige, Restreichweite, Motortemperatur, etc.)
- Situationsbewertung (Eiswarner, etc.)
- Reaktionsempfehlungen (Service Intervalle, Abstandswarner, etc.)
- Aktives Eingreifen (Bremsen, Lenken, ABS, ESP, etc.)

Um eine Sicherheitslogik sinnvoll zu implementieren, ist für jede Fehlerart (d. h. Fehlerrelevanz) ein sicherer Zustand zu definieren, in dem keine Gefährdung durch die Störung besteht.

Das Aktivieren einer solchen Reaktion erfordert meist ein dreimaliges Auftreten des

Fehlers, um eine Fehleinschätzung oder Messausreißer auszuschließen. [SZ10]

Im Folgendem werden zwei wichtige Sicherheitslogiken kurz vorgestellt.

### **Fail-Safe-System**

Ein Fail-Safe-System beschreibt ein Modell, in dem im Fehlerfall nur die Abschaltung des Gesamtsystems als sicher eingestuft wird. Die Fehler, um solch ein Not-Aus herbeizuführen, müssen jedoch sehr gravierend sein, da dem Nutzer jegliche Bewegung des Fahrzeuges verwehrt bleibt. Auch der Gedanke an einen Wechsel in diesen Modus während der Betriebszeit, lässt erahnen, dass Fail-Safe-Systeme eher selten implementiert sein sollten. Wenn diese Reaktion dennoch erforderlich ist, muss das Verhalten von dem Betriebsmoment zum sicheren Zustand klar durchdacht sein, das Fahrzeug muss bis zum Halt steuerbar bleiben. Deswegen wird die Logik eher nur im Stand, vor Beginn der Betriebszeit, aktiviert. Ein frühzeitiges Erkennen von Problemen und eine angemessene Reaktion bewahrt vor diesen schwer zu definierenden Entscheidungen. Da die Störungen, die zu solch einer Reaktion führen, sehr kritisch sein müssen, wird die Wiederinbetriebnahme solange ausgeschlossen, bis alle dazugehörigen Fehler beseitigt oder die defekten Komponenten ausgetauscht sind.

### **Fail-Reduced-System**

Eine weitere Sicherheitslogik ist die so genannte Betriebshemmung oder auch Fail-Reduced-System. In diesem Fall wird keine komplette Notabschaltung, sondern ein eingeschränkter Zustand als sicher definiert. Dadurch ist ein eigenständiges in die Werkstatt fahren sichergestellt, ohne weitere Komponenten zu gefährden. Ein gut verständliches Beispiel für ein Fail-Reduced-System ist der Notlauf, der bei defekter Vor-Kat-Lambdasonde aktiviert wird. Gibt die Lambdasonde mehrfach nicht plausible Werte an das Motorsteuergerät weiter, diagnostiziert dieses die Sonde als defekt. Da nun keine Daten zur optimalen Gemischeinstellung mehr geliefert werden, errechnet das Steuergerät das Luft-Kraftstoff-Verhältnis aus einem gespeicherten Kennfeld. Diese Kennfeldregelung ist unter Last nicht ökonomisch. Sie sorgt für schlechtere Emissionswerte und kann sogar Beschädigungen an weiteren Komponenten herbeiführen. Um diese Risiken zu minimieren und trotzdem eine Weiterfahrt möglich zu machen, wird die maximale Drehzahl auf einen möglichst geringen Wert reduziert. Da nun keine Lastspitzen mehr auftreten können, kann das Fahrzeug in einem sicheren Zustand ohne Fremdeinwirken in die nächste Werkstatt gelangen.

## **3.2.4 Fehlerspeicher**

Eine wichtige verbaute Hardware-Komponente der Diagnose ist der Fehlerspeicher. In diesem werden erkannte Fehler durch eine genormte Codierung abgelegt. Meist ist der Fehlerspeicher in Form eines Electric Erasable Programmable Read Only

Memory (EEPROM) realisiert. Diese Halbleiterspeicher sind leicht zu programmieren und ermöglichen ein sicheres magnetfeldunabhängiges Abspeichern der Fehler. Jedes Steuergerät verfügt über ein eigenes EEPROM. Der Zugriff von außen und somit das Auslesen der Fehlercodes erfolgt jedoch zentral über das Motorsteuergerät, das intern die Fehlerspeicher der Steuergeräte abfragt. [SZ10]

Der Fehlerspeicher enthält nicht nur Information über die fehlerhafte Komponente, sondern es wird mit jedem Fehler ein Diagnostic Trouble Code (DTC) angelegt. In diesem standardisierten Code werden möglichst viele Informationen abgespeichert, die beim Auftreten des Fehlers bekannt waren.

Hierzu gehören zum Beispiel [Rei09, SZ10]:

- die Motordrehzahl
- die Fahrgeschwindigkeit
- die Motortemperatur
- etc.

Jeder Fehler bekommt einen Code zugewiesen, der schon viel über das Problem verrät. Der Name des Fehlercodes besteht aus einem Buchstaben und vier Zahlen, wobei der Buchstabe, der an erster Stelle steht, den groben Ort des Fehlers beschreibt.

Buchstabe	Bedeutung
B	Fahrgestell (Body)
C	Karosserie (Chassis)
P	Antrieb (Powertrain)
U	Netzwerk

Die erste Zahl gibt Auskunft darüber, ob der Fehler nach SAE oder ISO standardisiert (0, 2 oder 3) oder herstellerspezifisch (1) ist. An zweiter Stelle wird der Ort des Fehlers weiter eingegrenzt, indem eine genauere Zuordnung zu einer Fahrzeugfunktion stattfindet. Ein paar Beispiele hierfür wären: Luft-/Kraftstoffmessung, Zündsystem, Steuergerät, Getriebe, Netzwerkkommunikation usw. Die letzten beiden Stellen bezeichnen nun genau die Komponenten, die für die Störungen verantwortlich sind. [Sch12]

Häufig kommt die Frage auf, wann und ob eine Heilung des Fehlercodes möglich ist. Das heißt, dass ein Fehler wieder aus dem Fehlerspeicher gelöscht wird. Zum einen können die meisten Fehler per Hand, über den Service Identifier \$03 ausgelesen und temporär gelöscht werden. Wenn der Fehler weiterhin erkannt wird, wird er beim nächsten Auftreten jedoch wieder abgespeichert. Andererseits kann das Steuergerät die Fehler auch selber wieder entfernen, was als „Selbstheilung“ bezeichnet werden kann.



Dies findet häufig im europäischen Raum nach ungefähr 40 NEFZ-Fahrzyklen<sup>2</sup> statt, in denen der Fehler nicht erneut aufgetreten ist. Das Steuergerät löscht den Fehler dann eigenständig. Man nimmt an, dass ein Fehler, der so lange nicht aufgetreten ist, entweder falsch erkannt oder behoben wurde.

Ist der Fehler abgasrelevant, wird er bei neueren, CAN-gesteuerten Fahrzeugen, als schwerwiegend eingestuft und zusätzlich zum Fehlerspeicher \$03 auch in den Speicher für „emissionsrelevante dauerhafte Fehlercodes“ \$0A abgelegt. Diese Fehler können nicht per Hand aus dem Steuergerät gelöscht werden, um einen Missbrauch zu verhindern; die abgespeicherten Daten der kritischen Fehler können nur vom Fahrzeug selbst als behoben erkannt und beseitigt werden. Sie sind also auch nicht für immer im Speicher verankert. [Sch12]

Zu bemerken wäre, dass die MIL ein Teil der OBD II ist und somit nicht bei jedem, sondern nur bei abgasrelevanten Fehlern aufleuchtet. Andere Fehler müssen laut gesetzlicher Vorgabe nicht sofort an den Fahrer vermittelt werden. Einige Hersteller gehen jedoch bereits dazu über, Diagnosedaten und auftretende Fehler im Cockpit anzuzeigen.

---

<sup>2</sup>Der neue europäische Fahrzyklus ist in der Richtlinie 98/69 beschrieben. Er enthält insgesamt 1180s, die in 780s städtische Bewegung und 400s Überlandfahrt aufgeteilt sind. Im Zyklus muss das Fahrzeug in Volllast, Teillast und Schubabschaltung betrieben werden.



## 4 Diagnose am Beispiel einer Lambdasonde

Um die bis hierhin behandelten Erkenntnisse an einem praktischem Beispiel zu sehen, wird in diesem Kapitel die Lambdasondendiagnose im Fahrzeug betrachtet.

### 4.1 Diagnosemöglichkeiten durch Lambdasonden-Werte

Die Diagnose am Fahrzeug ist ein sehr mächtiges Werkzeug. In Verbindung mit den abgasmessenden Lambdasonden ist es möglich, die ausgestoßenen Schadstoffe eines Kraftfahrzeuges auf einem möglichst niedrigen Level zu halten. Die Werte der Sonden geben aber nicht nur Informationen über die Abgaswerte aus, sondern lassen auch Rückschlüsse auf die Funktionstüchtigkeit anderer Fahrzeugkomponenten zu. So kann während der Off-Board-Diagnose die Arbeit des Katalysators überprüft werden. Und auch bereits während der Betriebszeit kann die On-Board-Diagnose Fehlverhalten diagnostizieren und Informationen darüber abspeichern. Um die durch Verschmutzung und Alterung gesunkene Sauerstoff-Aufnahmefähigkeit des Katalysators zu erkennen, werden die Sondensignale der Vor-Kat- und der Nach-Kat-Lambdasonde miteinander verglichen. Zeitgleich findet im Steuergerät eine prognostizierende Berechnung der Werte für die Nach-Kat-Lambdasonde statt. Hierbei wird der Katalysator als voll funktionstüchtig angenommen. Treten nun zu große Abweichungen über einen längeren Zeitraum zwischen echten und im Voraus berechneten Werten auf, ist dies ein sicheres Indiz für einen defekten Katalysator.

Des weiteren kann durch die Analyse der Sondenwerte auf Funktionalität der Sonden oder der Gemischbildung geschlossen werden. [Rei14]

### 4.2 Daten der Lambdasonde

In der On-Board-Diagnose wurde bis zur Einführung des CAN-Protokolls ein eigenständiger Service nur für die Daten der Lambdasonde geführt. In modernen Fahrzeugen sind diese Daten im Service \$06 integriert. Durch die besondere Behandlung der Lambdasondendaten kann man erneut auf die zentrale Rolle der Schadstoffüberwachung in der OBD schließen. Da die getrennte Betrachtung von \$05 und \$06 verständlicher ist, wird diese hier verwendet.

Der Service \$05 bietet, wie in Tabelle 4.1 dargestellt, Konstanten und berechnete Werte an, die den Funktionsbereich der verbauten Lambdasonden beschreiben. Um

TID-Nummer	Bedeutung	
\$00	Gibt an welche TIDs zur Verfügung stehen	
\$01	Schwellenwert vom fetten zum mageren Gemisch	K
\$02	Schwellenwert vom mageren zum fetten Gemisch	K
\$03	Untere Sensorspannung für Umschaltzeitberechnung	K
\$04	Obere Sensorspannung für Umschaltzeitberechnung	K
\$05	Umschaltzeit vom fetten zum mageren Gemisch	B
\$06	Umschaltzeit vom mageren zum fetten Gemisch	B
\$07	Minimale Sensorspannung für die Testdauer	B
\$08	Maximale Sensorspannung für die Testdauer	B
\$09	Zeit zwischen Sensorumschaltung	B
\$0A	Periodendauer des Sensorsignals	B

Tabelle 4.1: Parameter des SID \$05 (K=konstant, B=berechnet) [Sch12]

die momentanen Spannungs- und Stromwerte der Sonden auslesen zu können, verwendet man den Service Identifier (SID) \$01. Die Spannungen können mit Hilfe der PIDs \$24-\$2B und der aufgenommene Strom mit Hilfe der PIDs \$34-\$3B bezogen werden. [Sch12]

### 4.3 Kommunikationsablauf mit dem Diagnosetester

Damit die Kommunikation zwischen Lambdasonde und Diagnosetester funktionieren kann, muss als erstes ermittelt werden, wo und wie viele Lambdasonden verbaut sind. Um dies zu erfahren, stellt der Tester zunächst eine Anfrage an das Steuergerät, welche PIDs überhaupt vorhanden sind. Hierfür wird im SID \$01 der PID \$00 abgerufen. Folgend steht eine Liste zur Verfügung, welche alle verfügbaren PIDs enthält. Aus der Liste kann entnommen werden, dass entweder in PID \$13 oder in \$1D der Einbauort der Lambdasonden beschrieben wird; in welchem dann die Daten liegen, ist von der Motorgeometrie abhängig. Nach Abruf von SID \$01 PID \$13 bzw. \$1D ist bekannt, wo die Sensoren auf den Bänken angeordnet sind.

Durch das Wissen über den Einbauort können die Sensoren sozusagen direkt angesprochen werden. Die Kommunikation findet immer über ein Steuergerät statt, niemals direkt zwischen Sensor und Tester. Um nun einen Wert eines Sensors abzufragen, muss folgende Befehlskette aufgerufen werden; hier am Beispiel der „Schwellenwert vom mageren zum fetten Gemisch“ beschrieben:

*SID \$05 - TID \$02 - Bank2 Sensor1*

Das Steuergerät liefert auf diese Anfrage ein Byte als Antwort zurück. Durch Multiplikation dieses Wertes mit einem Skalierungsfaktor kann der Diagnosetester den Schwellenwert in Volt ausgeben. [Sch12]

Auf dieselbe Art und Weise funktioniert die Kommunikation für alle TIDs.

### 4.3.1 Beispiel eines Fehlerfalls

Im Zuge dieser Seminararbeit wurde ein Fahrzeug mit defekter Nach-Kat-Lambda-sonde untersucht. Als Untersuchungsobjekt diente ein Toyota Corolla (Baujahr 2001).

Dass ein schadstoffrelevanter Fehler von der Diagnosesoftware erkannt wurde, kann an der illuminierten Motorkontrollleuchte MIL festgestellt werden. Um den aufgetretenen Fehler zu analysieren, wird das Fahrzeug, über die OBD II-Schnittstelle, an ein Diagnosegerät angeschlossen. Als solches dient hier ein Laptop mit der Diagnosesoftware VAG-COM Diagnose-System (VCDS), die über ein genormtes USB-Diagnosekabel mit dem Motorsteuergerät kommunizieren kann. Um zunächst sicherzustellen, ob eine Überwachung der Fahrzeugkomponenten in den letzten Fahrzyklen stattgefunden hat, wird der sogenannte „Readinesscode“ abgerufen, der sich im SID \$01 - PID \$01 befindet. Er gibt Informationen darüber aus, welche Komponenten im Fahrzeug vorhanden sind und von der Diagnose überwacht werden bzw. eine Selbstdiagnose durchgeführt haben. Zusätzlich sind im SID \$01 - PID \$01 Informationen vorhanden, ob die Malfunction Indicator Light (MIL) eingeschaltet ist und wie viele Fehler derzeit im SID \$03 abrufbar sind. In Tabelle 4.2 werden die Ergebnisse des Testers angegeben. An dieser Stelle ist die Information über die Zahl der DTCs, den Status der MIL und die Kontrolle der Lambdasondendiagnose (Oxygen Sensor Monitoring) wichtig. [Sch12]

Mode 1 Readiness	
Thursday, 11, June, 2015,13:39:23:16726	
VCDS Release 14.10.2: Generic OBD2	
Mode 01 - PID 01 : Readiness – Address 10	
Number of DTCs stored: 4 – MIL Status: MIL ON	
Misfire monitoring:	Passed
Fuel System:	Passed
Comprehensive Components:	Passed
Catalyst monitoring:	Passed
Heated catalyst monitoring:	Not installed
Evaporative system monitoring:	Not installed
Secondary air system monitoring:	Not installed.
A/C system refrigerant monitoring:	Not installed.
sensor monitoring:	Passed
Oxygen sensor heater monitoring:	Passed
Exhaust Gas Recirculation:	Not installed

Tabelle 4.2: Beispiel Readiness Toyota Corolla

Hier sind vier Fehler bekannt, die MIL ist eingeschaltet und die Diagnose der Lambdasonden ist funktionstüchtig. Daher stellt sich die Frage, welche Fehler im System gefunden wurden. Hierzu werden die Fehlercodes über den Service Identifier \$03 abgefragt. Die Diagnosesoftware gibt die Informationen aus Tabelle 4.3 zurück.

Mode 3 Current DTCs		
Thursday, 11, June, 2015,13:31:13:16726		
VCDS Release 14.10.2: Generic OBD2		
Mode 03: Emission related fault codes		
Address 10 (Engine): 4 Faults Found:		
P0141	Oxygen (Lambda) Sensor B1 S2; Heating Circuit:	Malfunction
P0170	Fuel Trim; Bank 1:	Malfunction
P0140	Oxygen (Lambda) Sensor B1 S2:	No Activity
P0170	Fuel Trim; Bank 1:	Malfunction

Tabelle 4.3: Beispiel Fehlercode Toyota Corolla

Zu sehen ist, dass im Motorsteuergerät (Adresse 10), die Fehler P0141, P0170, P0140 und P0170 gespeichert sind. Aus Kapitel 3.2.4 ist bekannt, dass das „P“ im Fehlercode auf den Antriebsstrang verweist. Die erste Zahl „0“ in allen Fehlern verweist auf eine Normung nach SAE/ISO, die darauf folgende, bei allen gleiche Zahl „1“ lokalisiert den Fehler auf die Luft-/Kraftstoffmessung. Aus der Fehlerbeschreibung lässt sich erkennen, dass die Sonde B1-S2 betroffen und als nicht funktionsfähig bzw. nicht aktiv eingestuft wird. Da diese Informationen nur aussagen, dass ein Fehler aufgetreten ist, ihn aber nicht näher erläutern, können zur Ermittlung des genauen Problems die Informationen über die Lambdasonde, aus dem Service Identifier \$05, abgerufen werden. Die erhaltenen Informationen sind in Tabelle 4.4<sup>1</sup> aufgeführt. [Sch12]

Der Grund für die Diagnose der defekten Sonde (B1S2) ist im TID \$07 (B1S2) zu finden. Laut SONDENSPEZIFIKATION sollte die minimale Sensorspannung zwischen 0,000 V und 0,295 V liegen. Die Messung im letzten Fahrzyklus ergab jedoch eine minimale Sensorspannung von 0,405 V. Durch diese Plausibilitätsprüfung (vgl. 3.2.2) kann die Abweichung vom Sollwert als Fehler erkannt werden. Die Lambdasonde arbeitet anscheinend nicht (mehr) in ihrem Messbereich.

Warum der Defekt auftritt, lässt sich an dieser Stelle nur erraten. Dies könnten zum Beispiel Verschmutzungen an den sensiblen Keramiken am Sensor sein. Ein Indiz, mit dem geschultes Personal den Fehler eventuell eingrenzen kann, sind die Freeze-Frame-Daten. Wie in Tabelle 4.5 beispielhaft zu sehen, werden hier Daten über das Fahrzeug bei Auftreten des Fehlers P0170 aufgeführt. Die Daten reichen von der

<sup>1</sup>Hinweis: N/A bedeutet hier, dass die Daten nicht erfasst werden konnten. Dies kann zum Beispiel durch fehlende Daten im Speicher oder durch Probleme der Kommunikation zwischen Tester und Fahrzeug entstehen.

Mode 5 O2 Sensors		
Thursday, 18, June, 2015,12:26:55:16726		
VCDS Release 14.10.2: Generic OBD2		
Mode 05 - B1S1		
TID 01	Rich to lean sensor threshold voltage Test:	0.445 V
TID 02	Lean to rich sensor threshold voltage Test:	0.445 V
TID 03	Low sensor voltage for switch time calculation	N/A
TID 04	High sensor voltage for switch time calculation	N/A
TID 05	Rich to lean sensor switch time	N/A
TID 06	Lean to rich sensor switch time	N/A
TID 07	Minimum sensor voltage for test cycle Test:	0.050 V - Min:0.000 V - Max:0.295 V
TID 08	Maximum sensor voltage for test cycle Test:	0.890 V - Min:0.050 V - Max:0.900 V
TID 09	Time between sensor transitions Test:	0.400 s - Min:0.000 s - Max:2.000 s
TID 10	Sensor period	N/A
Thursday, 18, June, 2015,12:26:55:16726		
VCDS Release 14.10.2: Generic OBD2		
Mode 05 - B1S2		
TID 01	Rich to lean sensor threshold voltage Test:	0.445 V
TID 02	Lean to rich sensor threshold voltage Test:	0.445 V
TID 03	Low sensor voltage for switch time calculation	N/A
TID 04	High sensor voltage for switch time calculation	N/A
TID 05	Rich to lean sensor switch time	N/A
TID 06	Lean to rich sensor switch time	N/A
TID 07	Minimum sensor voltage for test cycle Test:	0.405 V - Min:0.000 V - Max:0.295 V
TID 08	Maximum sensor voltage for test cycle Test:	0.505 V - Min:0.500 V - Max:0.900 V
TID 09	Time between sensor transitions Test:	N/A
TID 10	Sensor period	N/A

Tabelle 4.4: Beispiel Lambdasonden Toyota Corolla

Fahrgeschwindigkeit über die Motordrehzahl und -temperatur bis hin zu Korrekturen an der Verbrennung durch das Motorsteuergerät (Short/Long Term Fuel Trim). Auffällig an den Daten ist der Wert des PID \$07. Die langfristige Nachregelung der Verbrennung um bis zu 25% zeigt, dass das Gemisch ständig im stark mageren Zustand ist. Auch dieser Hinweis kann auf ein Problem mit den Lambdasonden deuten. [Sch12]

Mode 2 Freeze Frame	
Thursday, 11, June, 2015, 13:32:36:16726	
VCDS Release 14.10.2: Generic OBD2	
Freeze Frame Data for address 10	
PID02	DTC that caused freeze frame data storage: P0170
PID03	Fuel system 1/2 status: Closed loop, using O2 sensors ... Engine off
PID04	Calculated load value: 16.9 %
PID05	Engine coolant temperature: 90 °C
PID06	Short Term Trim - Bank 1: 4.7 %
PID07	Long Term Trim - Bank 1: 25.0 %
PID12	Engine RPM: 3080 1/min
PID13	Vehicle speed: 113 km/h
PID15	Intake air temperature: 18 °C

Tabelle 4.5: Beispiel Freeze Frame Toyota Corolla



## 5 Zusammenfassung und Fazit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Überblick über die Fahrzeugdiagnose zu gewinnen und die Thematik zu vermitteln. Durch Literaturrecherche wurden Informationen zusammengetragen, um den Hintergrund der Diagnose zu verstehen als auch einzelne Komponenten. Diesbezüglich ist besonders die Lambdasonde zu erwähnen. Darüber hinaus sorgen die Realdaten der aufgeführten Messungen zu einem besseren Verständnis der theoretischen Informationen. Viele Einzelheiten der Lambdasondenregelung, der Off-Board- als auch der On-Board-Diagnose sind so detailliert dargestellt und ihre Funktionen erläutert.

Insgesamt lässt sich aus der Arbeit der Schluss ziehen, dass sowohl die On-Board- als auch die Off-Board- Diagnose mächtige Werkzeuge sind, die in Zukunft noch mehr an Bedeutung gewinnen werden.



# Literaturverzeichnis

- [Rei09] REIF, K.: *Automobilelektronik: eine Einführung für Ingenieure ; mit ... 36 Tabellen*. Vieweg + Teubner, 2009 (ATZ/MTZ-Fachbuch). – ISBN 978-3-8348-0446-4 8, 9, 10, 14, 15, 18
- [Rei12] REIF, K.: *Sensoren im Kraftfahrzeug*. Vieweg+Teubner Verlag, 2012 (Bosch Fachinformation Automobil). – ISBN 978-3-8348-2208-6 6
- [Rei14] REIF, Konrad: *Ottomotor-Management*. Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag, 2014. – ISBN 978-3-8348-2102-7 3, 5, 7, 8, 10, 13, 14, 21
- [Sch12] SCHÄFFER, F.: *OBD: Fahrzeugdiagnose in der Praxis*. Franzis Verlag GmbH, 2012 (Franzis PC und Elektronik). – ISBN 978-3-6456-5156-1 5, 7, 9, 11, 12, 13, 18, 19, 22, 23, 24, 26
- [SZ10] SCHÄUFFELE, J. ; ZURAWKA, T.: *Automotive Software Engineering: Grundlagen, Prozesse, Methoden und Werkzeuge effizient einsetzen*. Vieweg+Teubner Verlag, 2010 (ATZ/MTZ-Fachbuch). – ISBN 978-3-8348-0364-1 15, 16, 17, 18